

Transmisi Gelombang pada Breakwater Tenggelam

Ketut Kinog¹⁾
Hang Tuah²⁾
Andojo Wurjanto³⁾
Krisnaldi Idris³⁾

Abstrak

Kerusakan pantai dalam bentuk abrasi pantai, telah merupakan masalah bagi banyak negara. Untuk pemecahannya, para ahli telah mengembangkan banyak jenis bangunan seperti revetment, groin dan detached breakwater. Walaupun jenis bangunan tersebut sebagian telah dapat mencegah abrasi, tapi umumnya dianggap tidak ramah lingkungan, khususnya ditinjau dari sudut pandang kepariwisataan.

Makalah ini mencoba mencari bentuk bangunan pengaman pantai yang ramah lingkungan, dengan mengambil sifat terumbu karang, yaitu berupa breakwater tenggelam. Bahasan difokuskan pada kemampuan breakwater tenggelam meredam gelombang datang, dengan pendekatan berupa hubungan parameter kecuraman gelombang H/gT^2 versus koefisien transmisi $C_t = H_t/H_i$, untuk parameter b/L dan d/h tertentu.

Hasilnya berupa grafik transmisi gelombang, yang menunjukkan bahwa C_t menjadi semakin kecil bila b/L atau d/h semakin besar.

Kata-kata kunci: breakwater tenggelam, transmisi gelombang, koefisien transmisi.

Abstract

Beach damages in the form of beach erosion, has been made problems in many countries. For solving the problem, the experts have been developed many kinds of structure, as revetment, groin and detached breakwater. Although a part of the structure succeed to restrain the beach erosion, but generally it is not friendly environmental, especially from the tourism view.

This paper try to develop friendly environmental beach protection, by taking the coral characteristic, in the form of submerged breakwater. The analysis is focused in the capability of the submerged breakwater in reducing the incident waves, which be approach by the relation of wave steepness H/gT^2 versus transmission coefficient $C_t = H_t/H_i$, for certain b/L and d/h .

The result is wave transmission figures, which show that the bigger value of b/L or d/h the smaller value of C_t .

Keywords: submerged breakwater, wave transmission, transmission coefficient.

1 Pendahuluan

1.1 Latar belakang

Kerusakan pantai dalam bentuk abrasi pantai merupakan masalah yang telah dihadapi oleh banyak negara di dunia, dan telah menelan banyak korban materi seperti yang dilaporkan oleh *Bali Beach Conservation Project* [JICA 1989, Nippon Coei 1992 & 1998 dan Kinog 2000]. Untuk menanggulangnya

para ahli telah banyak pula mengembangkan bentuk-bentuk bangunan seperti *Revetment*, *Groin*, *Breakwater lepas pantai (detached breakwater)*, namun dirasa masih ada yang belum memuaskan, khususnya dari sudut pandang kepariwisataan, yang menganggap bangunan-bangunan tersebut kurang ramah lingkungan, karena menghilangkan *kesan alamiah* pantai yang bersangkutan.

Abrasi pantai disebabkan oleh adanya angkutan sedimen pantai dan besarnya dipengaruhi oleh tinggi

1. Mahasiswa S-3 Departemen Teknik Sipil FTSP- ITB
2. Guru Besar Departemen Teknik Sipil FTSP- ITB
3. Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil FTSP- ITB

Catatan : Usulan makalah dikirimkan pada 24 Agustus 2004 dan dinilai oleh peer reviewer pada tanggal 30 Agustus 2004 - 6 September 2004. Revisi penulisan dilakukan antara tanggal 21 Oktober 2004 hingga 1 Nopember 2004.

gelombang H , (SPM halaman 89-100). Kalau H dapat direduksi, yaitu dengan breakwater tenggelam, maka abrasi akan berkurang. Beberapa karakter gelombang yang berhubungan dengan penyusutan gelombang, antara lain kecuraman gelombang yang dinyatakan dengan H/gT^2 , dimana makin curam kondisinya makin labil (mudah pecah). Breakwater tenggelam sendiri mengambil sifat terumbu karang pantai, yang dapat mereduksi gelombang datang, dimana makin lebar terumbu karang dan makin kecil kedalaman air h pada terumbu karang, maka makin kecil besar penyusutan H .

Hal-hal di ataslah yang melatar-belakangi makalah ini, yaitu bahwa abrasi pantai dapat dikurangi dengan mereduksi tinggi gelombang datang, yaitu dengan membuat breakwater tenggelam yang akan meniru sifat terumbu karang.

I.2 Tujuan penelitian

Tujuan penelitian ini secara umum adalah mempelajari interaksi antara gelombang dan breakwater tenggelam, yang digambarkan dengan perubahan-perubahan parameter gelombang setelah melewati breakwater tenggelam tersebut.

Sedangkan tujuan secara khusus, adalah untuk mendapatkan suatu grafik yang dapat digunakan untuk merencanakan breakwater tenggelam. Dalam hal ini analisis difokuskan pada masalah *transmisi gelombang*, yang dinyatakan dengan hubungan antara parameter kecuraman gelombang H/gT^2 dengan koefisien transmisi $C_T = H_t/H_i$. Dari hubungan H/gT^2 versus C_T akan diperoleh grafik transmisi gelombang, yang memberi gambaran besarnya C_T untuk suatu parameter b/L dan d/h tertentu. Grafik transmisi gelombang inilah yang akan digunakan untuk merencanakan breakwater tenggelam.

I.3 Manfaat penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu:

- Dari segi lingkungan hidup, secara umum sebagai

metode pengamanan pantai yang ramah lingkungan, khususnya dari sudut pandang kepariwisataan, karena pembuatan breakwater tenggelam tidak akan mengubah kesan alamiah pantai yang bersangkutan.

- Dari segi teknis, grafik yang dihasilkan dapat digunakan untuk merencanakan dimensi breakwater tenggelam.

I.4 Metode penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah model fisik, yang dilakukan pada saluran gelombang [Hughes 1993]. Untuk hal ini dibuat model armor sebagai pembentuk model breakwater di saluran gelombang. Model armor dan model breakwater disesuaikan dengan kemampuan saluran gelombang, yang dalam hal ini adalah:

- Kedalaman air dalam flume 0,2 m – 0,7 m
- Ketinggian gelombang maksimum yang dapat dibuat = 0,3 m
- Frekuensi 0,3 - 0,6 hz.

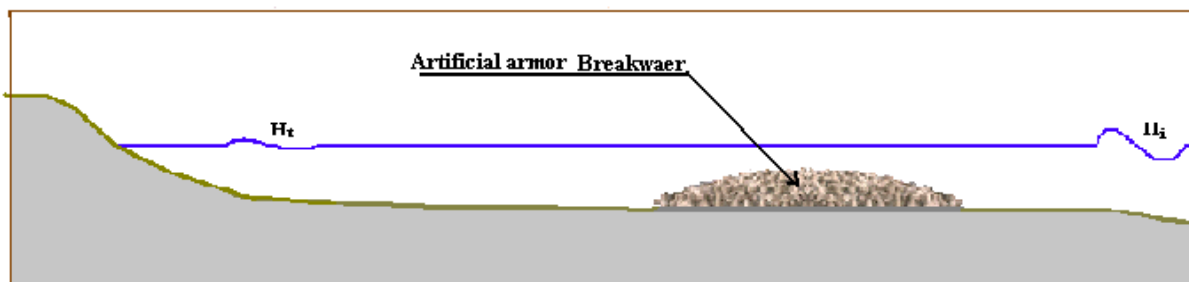
Dari perhitungan skala model didapat skala model = 24, yang menghasilkan model armor A-jack, tetrapod dan kubus masing-masing dengan ukuran 6,25 cm, 8 cm dan 4cm.

Dalam penentuan parameter penelitian digunakan parameter gelombang dan breakwater seperti pada **Gambar 2**.

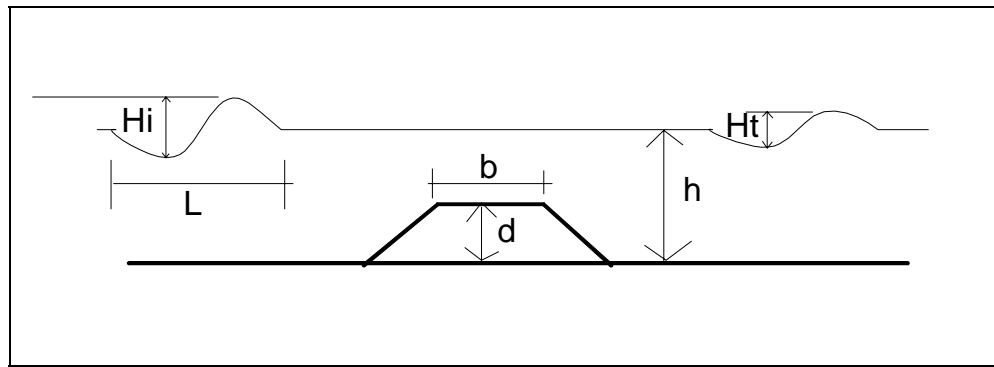
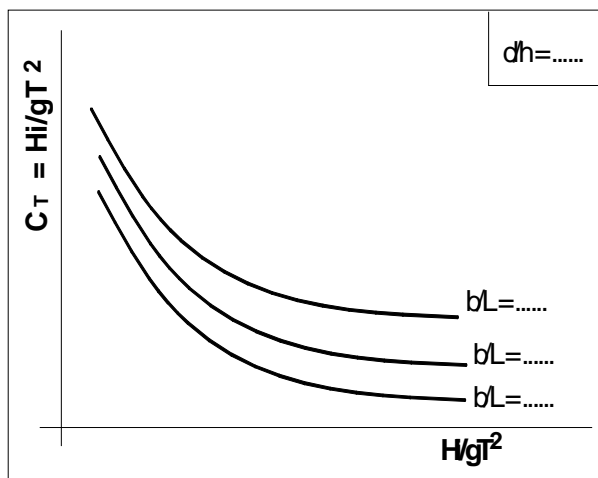
Analisis dimensional dengan Buckingham Pi Theorem [Hughes 1993] menghasilkan persamaan parameter transmisi gelombang:

$$C_T = \frac{H_t}{H_i} = f\left(\frac{H_i}{gT^2}, \frac{b}{L}, \frac{d}{h}\right) \quad (1)$$

yang dapat dibuat grafik 2-D, untuk harga b/L dan d/h tertentu, seperti pada **Gambar 3**.



Gambar 1. Breakwater tenggelam

Gambar 2. Parameter *breakwater* dan gelombang

Gambar 3. Perkiraan grafik transmisi 2-D

Percobaan yang dilakukan ditujukan untuk mendapatkan grafik seperti **Gambar 3**, untuk tiap jenis armor. Rentang harga b/L diambil 0,1 – 1,0, sedangkan rentang harga d/h , diambil 0,7 – 0,95.

2. Tinjauan Pustaka

Studi yang mengarah pada masalah transmisi gelombang pada breakwater, dimulai oleh Biesel [1950], Goda et al. [1963], Sawargi et al. [1970], Saville [1963] dan Lamarre [1967], tapi belum ada yang memberikan perumusan yang berarti. Baru setelah Cross dan Sollitt [1971], Sollitt & Cross [1976] dan Seelig [1980], mulai ada perumusan dengan adanya parameter tranmisi gelombang dan parameter steepness gelombang.

Berikutnya Losada et al. [1996] mempelajari transmisi gelombang pada submerged breakwater didasarkan pada pola model linier untuk submerged rectangular porous breakwater dari Sollitt et al. [1976] dan Losada [1991]. Hasilnya berupa grafik hubungan antara koefisien refleksi, transmisi dan redaman versus $k_0 h$.

Mizutani et al. [1998] mempelajari interaksi antara gelombang dan *permeable submerged breakwater* secara numerik dan diverifikasi dengan model fisik, dengan armor dari bola-bola plastik berdiameter 2.7 cm, yang ditempatkan dalam sangkar baja talud 1:2, lebar puncak 105 cm, tinggi 21 cm. Hasilnya berupa grafik yang menggambarkan pengaruh b/L pada energi gelombang.

Sejalan dengan studi mengenai transmisi gelombang, Goda dan Suzuki [1976] mengembangkan metode pemisahan gelombang di depan breakwater menjadi gelombang datang H_i dan gelombang pantul H_r . Selanjutnya Goda [1985] mengembangkan pula metode perhitungan periode gelombang T dan tinggi gelombang H dari data hasil rekaman gelombang, yang disebut metode *zero-upcrossing*.

3. Pelaksanaan Penelitian

3.1 Tahap persiapan

Tahap persiapan ini terdiri dari 3 bagian, yaitu:

- Pencetakan model armor, adalah membuat benda model berupa A-jack, tetrapod dan kubus. Jumlahnya sedemikian rupa sehingga dapat memenuhi volume model breakwater yang akan dibuat. Dalam hal ini telah dibuat 2500 buah model armor A-jack, 2000 buah model tetrapod dan 1500 buah model kubus.
- Persiapan laboratorium dapat berfungsi dengan baik. Laboratorium yang digunakan berupa saluran gelombang milik Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Air Balitbang Kimpraswil Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Jl. Ir. H. Juanda 193 Bandung. Saluran ini berukuran panjang 40 m, lebar 0,6 m, tinggi 1,1 m, dilengkapi dengan pembangkit gelombang tipe piston yang sesuai untuk laut dangkal (pantai). Gerakan piston pembangkit gelombang dikontrol oleh sistem penggerak terdiri dari motor penggerak,

yang dijalankan dengan tenaga listrik. Pengatur frekuensi yang dapat diubah secara manual. Periode gelombang yang dapat dibangkitkan adalah 1 – 3 detik. Pengatur bentang gerakan piston dapat diubah secara manual. Tinggi gelombang maksimum yang dapat dihasilkan adalah 0,3 m. Kedalaman air pada flume yang dapat dipakai adalah 0,25 – 0,8 m. Persiapan saluran gelombang yang dilakukan adalah:

- Membuat model pantai dengan kemiringan 1 : 10 dengan peredam gelombang dari ijuk. Peredam juga dibuat dibagian belakang piston.
- Memeriksa sistem penggerak piston dan sistem pengatur frekuensi.
- Melakukan kalibrasi, untuk mengetahui hubungan antara jarum penunjuk frekuensi dengan periode gelombang T yang dapat dihasilkan dan hubungan antara frekuensi dengan tinggi gelombang yang dapat dihasilkan.
- Persiapan alat pengukur dan perekam data, berupa alat ultrasonic distance sensor merk Senix, dengan model Ultra-SP, yang prinsip pengukurannya adalah dengan mengirim gelombang ultrasonic ke permukaan air (gelombang) yang kemudian dipantulkan. Pantulan tersebut ditangkap lagi oleh sensor Senix. Dari perhitungan waktu yang ditempuh oleh gelombang ultrasonic, jarak permukaan gelombang dengan sensor alat Senix tersebut dapat ditentukan. Dengan sistem elektronik, data yang didapat diubah menjadi arus listrik (satuan mA), yang selanjutnya dengan mengkalibrasi alat tersebut dengan dengan jarak yang telah diketahui, maka data yang didapat dapat diubah menjadi data jarak. Persiapan yang dilakukan adalah menyiapkan sistem kabel antara Senix dengan komputer, karena perekaman dilakukan dengan komputer yang dijalankan dengan *software winspan*.

3.2 Tahap percobaan

Pada tahap ini dilaksanakan percobaan-percobaan seperti yang telah direncanakan. Percobaan pada dasarnya untuk mendapatkan data gelombang datang H_i , H_t dan T , untuk harga b , d , h yang ditentukan. Gelombang datang diukur dengan 2 buah Senix dan gelombang transmisi diukur dengan 1 buah Senix. Telah dilakukan 325 percobaan dan dihasilkan 325 x 3 = 975 file data transmisi gelombang.

4. Hasil Percobaan dan Pembahasan

4.1 Data hasil percobaan

Percobaan yang dilakukan menghasilkan data berupa rekaman data permukaan gelombang, untuk transmisi gelombang. Berikut ini rinciannya:

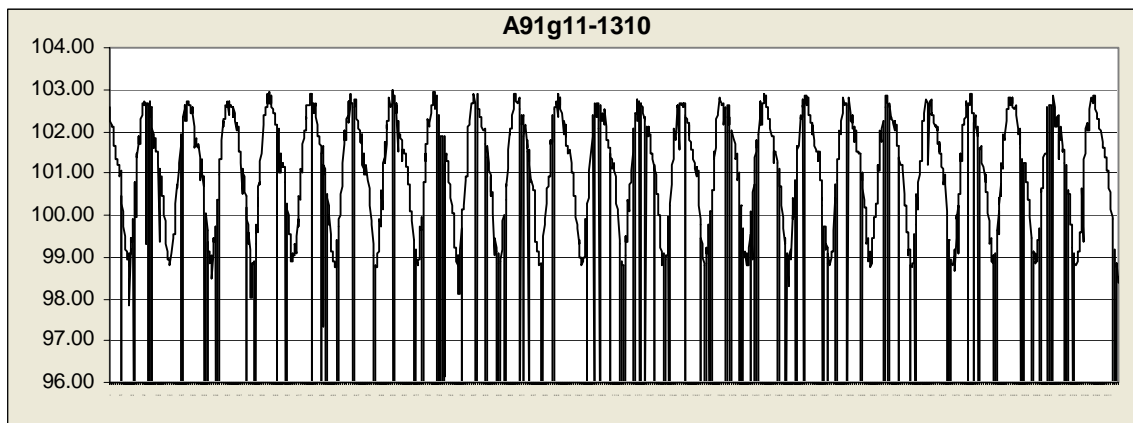
4.2 Pengolahan data

Data yang didapat berupa file data komputer. Kondisi data yang didapat, untuk gelombang yang relatif lantai umumnya mulus (tanpa *error*), tapi untuk gelombang yang relatif curam mengandung *error* pada beberapa titik, sehingga perlu perbaikan.

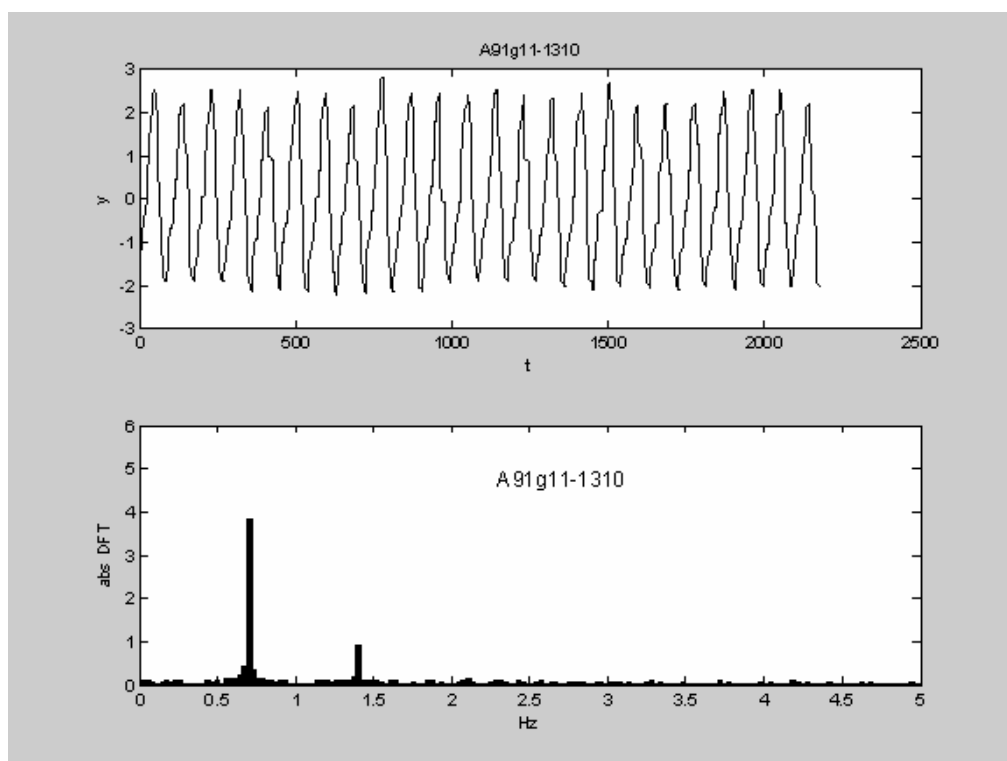
Untuk mencari T dan H_t pada gelombang transmisi, digunakan metode *zero-upcrossing* [Goda, 1985], dan untuk menentukan tinggi gelombang datang H_i , maka gelombang di depan breakwater yang direkam dengan 2 buah Senix, digunakan metode *Goda-Suzuki* [1976], yang menguraikan gelombang menjadi datang H_i dan gelombang pantul H_r . Untuk proses perbaikan data, penggunaan metode *zero-upcrossing* dan metode *Goda-Suzuki* telah dibuatkan program komputer, dengan input data dari data rekaman yang diambil sepanjang sekitar 20 gelombang berturut-turut. Output program berupa data hasil perbaikan data gelombang, harga H_i dan T serta spektrum gelombang yang bersangkutan. Berikut ini contoh gelombang yang masih mengandung *error*, yang sudah diperbaiki dan spektrumnya:

Tabel 1. Perincian hasil percobaan transmisi gelombang

Jenis armor	Kelompok	Sub kelompok	Jumlah percobaan	Jumlah file
A-jack	I	5	29	87
	II	5	28	84
	III	5	26	78
	IV	5	22	66
	V	4	19	27
	VI	4	20	60
	VII	4	20	60
	VIII	4	20	60
	IX	4	20	60
Tetrapod	I	4	20	60
	II	4	18	54
	III	4	20	60
	IV	3	15	45
	V	3	14	42
Kubus	I	4	16	48
	II	4	17	51
	III	3	12	36
	IV	4	18	54
	V	4	15	45
		Jumlah	325	975



Gambar 4. Contoh grafik data gelombang asli (belum diperbaiki)



Gambar 5. Contoh gelombang yang telah diperbaiki dan spektrumnya

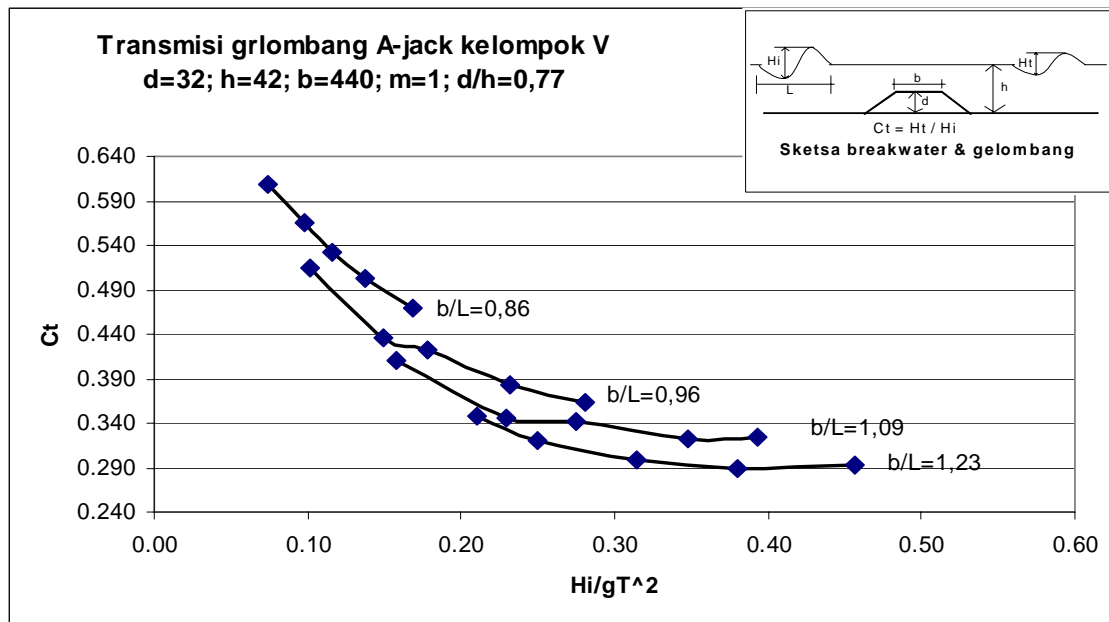
4.3 Hasil Pembahasan

Hasil perhitungan H_i , H_t dan T , kemudian digunakan untuk perhitungan $C_T = H_t/H_i$ dan H_t/gT^2 (Tabel 2). Selanjutnya dari harga-harga H_t/H_i dan H_t/gT^2 pada tabel dibuat grafik transmisi gelombang (Gambar 6). Tabel 2 dan grafik Gambar 6 adalah hasil perhitungan 1 kelompok data. Pada analisis dengan metode Goda-Zuzuki [1976], H_r yang terjadi berkisar antara 20 – 28 % dari H_i .

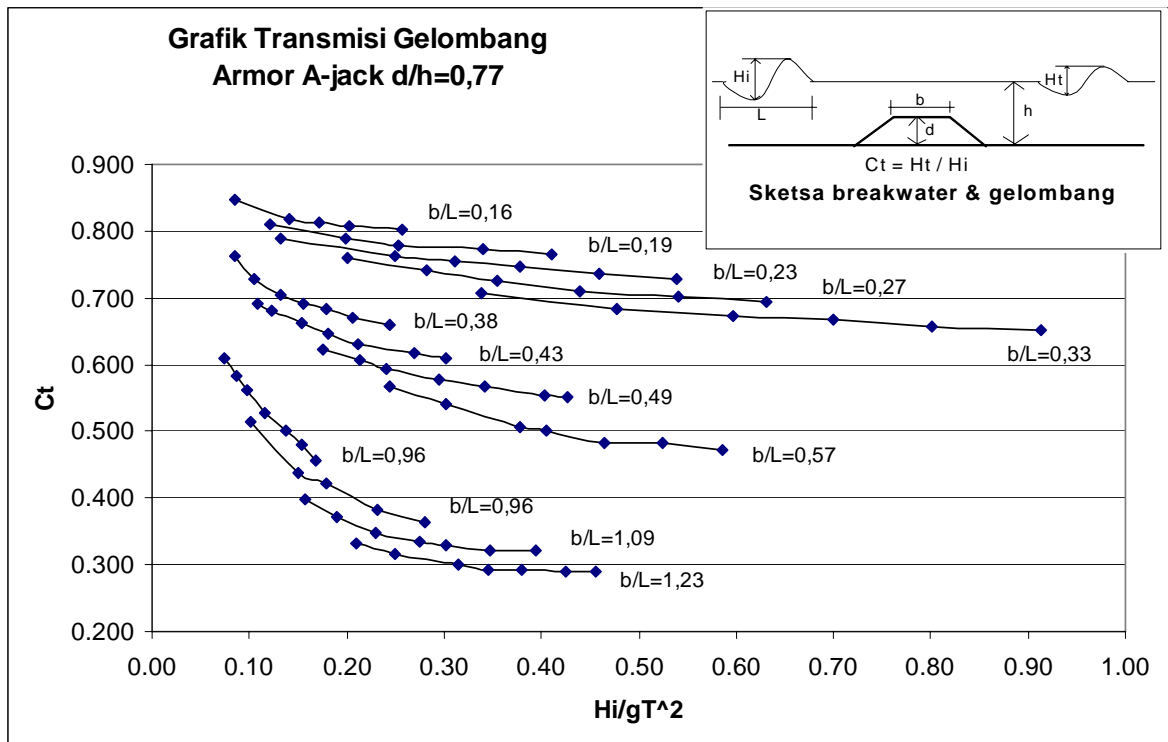
Karena seperti tertera pada Tabel 1 ada 9 kelompok data untuk armor A-jack, 5 kelompok data untuk armor tetrapod dan 5 kelompok data untuk armor kubus, maka dihasilkan 9 grafik A-jack, 5 grafik armor tetrapod dan 5 grafik untuk armor kubus dengan harga b/L dan d/h berbeda. Untuk penyajian yang lebih komprehensif, kelompok-kelompok tersebut di gabungkan (Gambar 6 sampai 10), dimana terlihat sebarannya untuk bergagai harga b/L dan d/h .

Tabel 2. Contoh hasil perhitungan parameter H_i/gT^2 dan $C_t = H_t/H_i$ untuk A-jack kelompok V

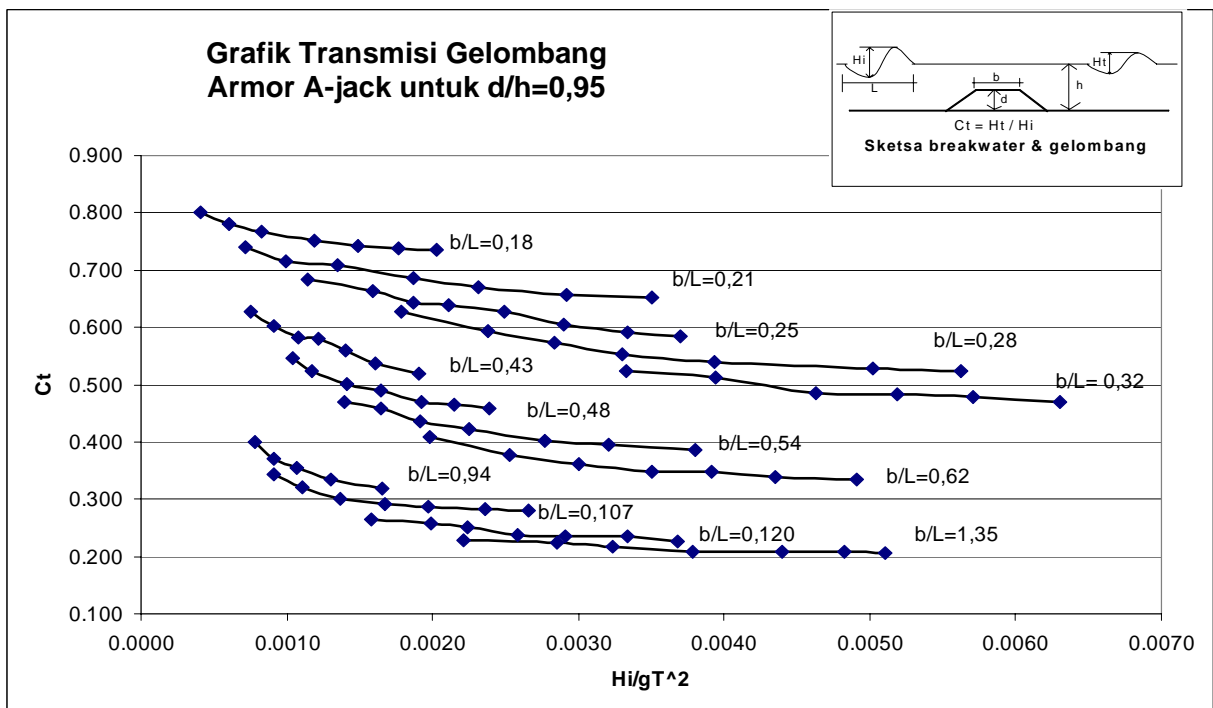
A-V	Senix1		Senix2		Glb datang		Ht	d	h	b	L	d/h	b/L	H_i/gT^2	C_t
	T	H	T	H	Ti	Hi									
g11	2.56	4.72	2.55	4.80	2.55	4.76	2.90	0.32	0.42	4.40	5.12	0.76	0.86	0.07	0.609
g13	2.55	6.19	2.55	6.28	2.55	6.24	3.53	0.32	0.42	4.40	5.12	0.76	0.86	0.10	0.566
g14	2.59	7.24	2.59	7.53	2.55	7.39	3.93	0.32	0.42	4.40	5.12	0.76	0.86	0.12	0.532
g15	2.29	9.23	2.56	8.36	2.55	8.80	4.42	0.32	0.42	4.40	5.12	0.76	0.86	0.14	0.503
g17	2.61	10.82	2.59	10.63	2.55	10.73	5.04	0.32	0.42	4.40	5.12	0.76	0.86	0.17	0.470
g21	2.30	5.00	2.55	5.49	2.30	5.25	2.70	0.32	0.42	4.40	4.59	0.76	0.96	0.10	0.515
g23	2.30	7.12	2.30	8.44	2.30	7.78	3.40	0.32	0.42	4.40	4.59	0.76	0.96	0.15	0.437
g24	2.29	8.63	2.30	9.86	2.30	9.25	3.90	0.32	0.42	4.40	4.59	0.76	0.96	0.18	0.422
g26	2.29	11.58	2.29	12.44	2.30	12.01	4.60	0.32	0.42	4.40	4.59	0.76	0.96	0.23	0.383
g27	2.32	14.60	2.32	14.57	2.30	14.59	5.30	0.32	0.42	4.40	4.59	0.76	0.96	0.28	0.363
	T	H	T	H	Ti	Hi	Ht								
g31	2.07	6.46	2.06	6.56	2.05	6.51	2.67	0.32	0.42	4.40	4.05	0.76	1.09	0.16	0.410
g33	2.06	8.82	2.06	10.08	2.05	9.45	3.27	0.32	0.42	4.40	4.05	0.76	1.09	0.23	0.346
g34	2.05	11.45	2.04	11.18	2.05	11.32	3.86	0.32	0.42	4.40	4.05	0.76	1.09	0.27	0.341
g36	2.05	14.53	2.04	14.13	2.05	14.33	4.61	0.32	0.42	4.40	4.05	0.76	1.09	0.35	0.322
g37	2.06	16.26	2.05	16.21	2.05	16.24	5.26	0.32	0.42	4.40	4.05	0.76	1.09	0.39	0.324
g41	1.84	6.37	1.83	7.45	1.83	6.91	2.40	0.32	0.42	4.40	3.57	0.76	1.23	0.21	0.347
g42	1.82	7.74	1.82	8.64	1.83	8.19	2.63	0.32	0.42	4.40	3.57	0.76	1.23	0.25	0.321
g43	1.83	10.57	1.83	10.07	1.83	10.32	3.08	0.32	0.42	4.40	3.57	0.76	1.23	0.31	0.298
g45	1.82	12.34	1.82	12.66	1.83	12.50	3.62	0.32	0.42	4.40	3.57	0.76	1.23	0.38	0.290
g47	1.84	14.66	1.82	15.33	1.83	15.00	4.39	0.32	0.42	4.40	3.57	0.76	1.23	0.46	0.293



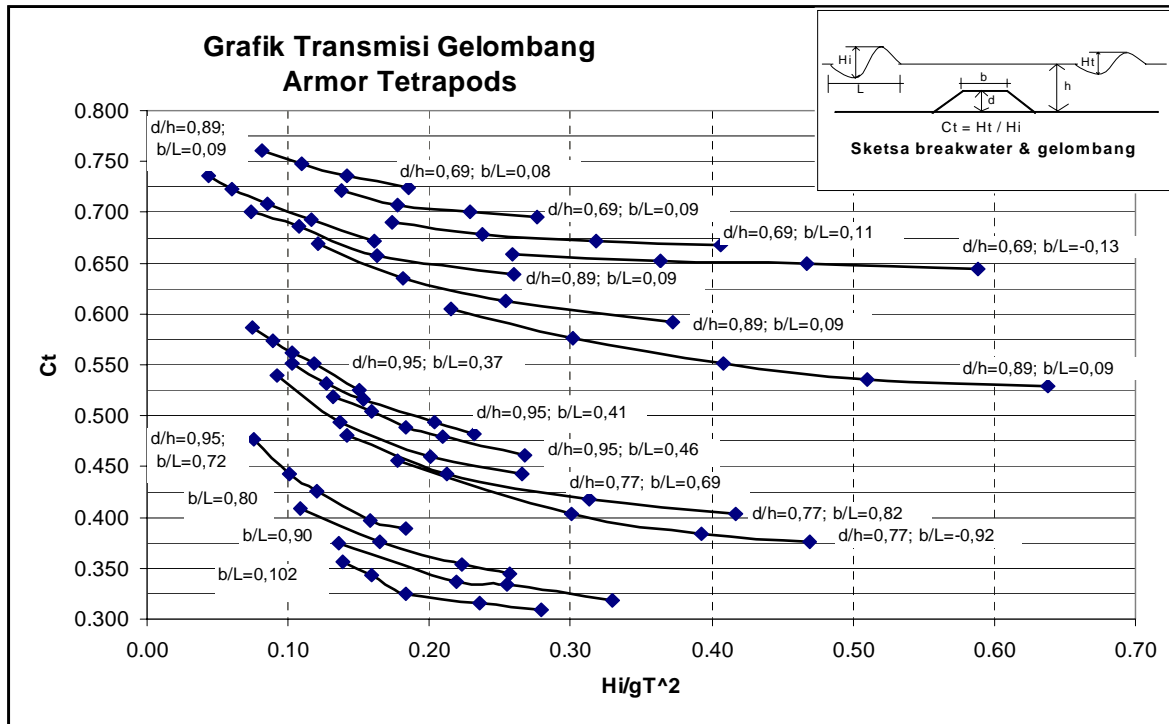
Gambar 6. Contoh grafik transmisi (A-jack kelompok V)



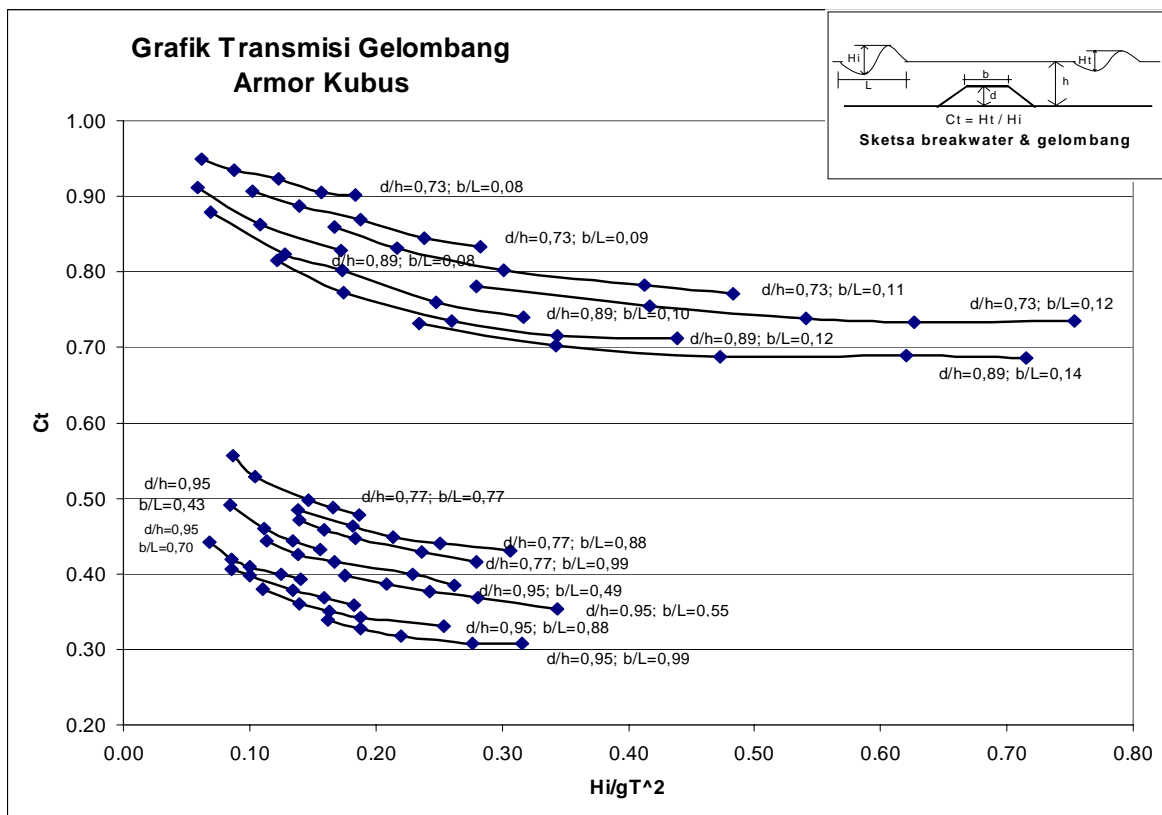
Gambar 7. Grafik transmisi gelombang gabungan untuk A-jack dengan $d/h = 0,77$



Gambar 8. Grafik transmisi gelombang gabungan untuk A-jack dengan $d/h = 0,95$



Gambar 9. Grafik transmisi gelombang gabungan untuk armor tetrapod



Gambar 10. Grafik transmisi gelombang gabungan untuk armor kubus

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

- Makin besar harga *dimensionless wave steepness* H/gT^2 , maka makin kecil harga *wave transmission coefficient* C_t . Ini sejalan dengan :
 - Sollitt [1976], walaupun penelitiannya untuk *porous breakwater* tidak tenggelam.
 - SPM 1984 halaman 7-62, yang didasarkan pada Seelig [1980].
 - Seelig [1980], yang penelitiannya untuk *submerged impermeable breakwater* dan *rubble mound breakwater*.
- Makin besar *dimensionless breakwater width* b/L , maka makin kecil harga *wave transmission coefficient* C_t . Ini sesuai dengan :
 - Losada et al. [1996], yang penelitiannya dilakukan dengan model numerik untuk *submerged rectangular porous breakwater*.
 - Mizutani et al. (1998), yang penelitiannya dilakukan dengan model numerik untuk *submerged porous breakwater*, dan diverifikasi dengan model fisik, menggunakan armor bola-bola plastik.
- Makin besar harga *relative breakwater height* d/h , maka makin kecil harga *wave transmission coefficient* C_t . Ini sesuai dengan :
 - Mizutani et al. (1998), yang penelitiannya dilakukan dengan model numerik untuk *submerged porous breakwater*, dan diverifikasi dengan model fisik, menggunakan armor bola-bola plastik.

5.2 Saran

Dalam pemilihan jenis armor sebaiknya disesuaikan dengan tingkat tenaga ahli yang tersedia, di lokasi pekerjaan yaitu:

- Bila tenaga ahli tidak memadai, sebaiknya pilih armor kubus, yang kurang efisien tapi mudah dibuat dan diawasi.
- Bila tenaga ahli cukup baik, sebaiknya pilih armor tetrapod, yang cukup efisien.
- Bila tenaga ahli baik, pilih armor A-jack yang paling efisien, tapi perlu pengawasan ketat.

Daftar Pustaka

- Ahrens, J.P. 1987, "Characteristic of Reef Breakwater", CERC-87-17, US Army Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi.
- Burcharth, H.F., d'Ángremond, K. van der Meer, J.W., Liu, Z., 2000, "Empirical Formula for Breakage of Dolosse and Tetrapods", Coastal Engineering- Elsevier-40, 183-206.
- Carver, R.D., Wright B.J., 1994, "Investigation of Wave Grouping Effects on the Stability of Stone-Armored, Rubble-Mound Breakwaters", CERC-94-13, US Army Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi.
- Carver, R.D., Heimbaugh, M.S., 1989, "Stability of Stone and Dolos-Armored, Rubble-Mound Breakwaters Heads Subjected to Breaking and Nonbreaking Waves With no Overtopping", CERC-89-4, US Army Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi.
- Carver, R.D., Wright B.J., 1991, "Investigation of Random Variations in Stability Response of Stone-Armored, Rubble-Mound Breakwaters", CERC-91-17, US Army Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi.
- Carver, R.D., Herrington, C.R., Wright B.J., 1987, "Stability of Stone and Dolos-Armored, Rubble-Mound Breakwater Head Subjected to Nonbreaking Waves With no Overtopping", CERC-94-13, US Army Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi.
- Cheong, H.F., Shankar, N.j., Nallayarasu, S., 1996, "Analysis of Platform Breakwater by Eigen Function Expansion Method", Ocean Engineering-Pergamon-23(8), 649-666.
- Coen, L.D., Luckenbach, M.W., 2000, "Developing Success Criteria and Goals for Evaluating Oyster Reef Restoration: Ecological Function or Resource", Ecological Engineering-Elsevier-15, 323-343.
- Dean, R.G., Chen, R., Browder, A.E., 1997, "Full Scale Monitoring Study of a Submerged Breakwater, Palm Beach, Florida, USA". Coastal
- Goda, Y., Morinobu, K., 1998, "Breaking Wave Height on Horizontal Bed Affected by Approach Slope", Coastal Engineering Journal-40 (4) 307-326.

- Goda, Y., 1985, "Random Seas and Design of Maritime Structures", University of Tokyo Press.
- Hsu, H.H., Wu, Y.C., 1999, "Scattering of Water Wave by a Submerged Horizontal Plate and a Submerged Permeable Breakwater", Ocean Engineering- Pergamon-26, 325-341.
- Huang, L.H., Chao, H.I., 1992, "Reflection and Transmission of Water Wave by Porous Breakwater", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, vol. 118 no. 5 1992, 437-452.
- Hughes, S.A., 1993, "Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering", Advanced Series on Ocean Engineering Vol. 7, World Scientific Publishing Co., Singapore.
- Japan International Cooperation Agency, 1989, "The Feasibility on the Urgent Bali Beach Conservation Project", Directorate General of Water Resources Development, Ministry on Public Work, Government of the Republic of Indonesia.
- Kawasaki, K., 1999, "Numerical Simulation of Breaking and Post Breaking Wave Deformation Process Around a Submerged Breakwater", Coastal Engineering Journal- 41 (3& 4) 201-223.
- Kinog, K., 2000, "Rehabilitasi Pantai Dengan Beach Nourishment", Tesis Magister pada Program Studi Teknik Sipil, Program Pasca Sarjana ITB, Bandung.
- Kobayashi, N., Wurjanto, A., 1989, "Wave Transmission Over Submerged Breakwaters", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE- 115 (5) 662-670.
- Lindfield, G., Penny, J., 1999, "Numerical Method Using MATLAB", Ellis Horwood, Singapore.
- Losada, I.J., Silva, R., Losada, M.A., 1996, "3-D Non-Breaking Regular Wave Interaction With Submerged Breakwater", Coastal Engineering- 28, Elsevier, 229-248.
- Losada, I.J., Silva, R., Losada, M.A., 1996, "Interaction of Non-breaking Random Wave with Submerged Breakwaters", Coastal Engineering-28, Elsevier, 249-266.
- Losada, M., Kobayashi, N., Martin, L., 1992, "Armor Stability on Submerged Breakwaters.", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, 118 (2), 207-212.
- Mai, S., Ohle, N., Daemrich, K.F., 2000, "Numerical Simulation of Wave Propagation Compared to Physical Modeling", Franzius-Institut for Hydraulic, Waterways and Coastal Engineering, University of Hannover, Germany.
- Massel, S.R., Gourlay, M.R., 2000, "On The Modelling of Wave Breaking and Set-up on Coral Reefs", Coastal Engineering-Elsevier- 39, 1-27.
- Mizutani, N., Mostafa, A.M., Iwata, K., 1998, "Nonlinier Regular Wave, Submerged Breakwater and Seabed Dynamic Interaction", Coastal Engineering-33, Elsevier, 177-202.
- Mizutani, N., Mostafa A.M., 1998, "Nonlinier Wave Induced Seabed Instability Around Coastal Structures", Coastal Engineering Journal-40 (2) 131-160.
- Nippon Koei Co. Ltd., 1992, "Urgent Bali Beach Conservation Project Design Report", Directorate General of Water Resources Development, Ministry on Public Work, Government of the Republic of Indonesia.
- Seelig, W.N., 1980, "Two Dimensional Test of Wave Transmission and Reflection Characteristics of Laboratory Breakwaters", US Army Corp of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Kingman Building Fort Belvoir.
- Silvester, R., Hsu, J.R.C., 1997, "Coastal Stabilization", Advanced Series on Ocean Engineering vol. 14, World Scientific Publishing Co., Singapore.
- Sumer, B.M., Fredsoe, J., 2000, "Experimental Study of 2-D Scour and its Protection at a Rubble-Mound Breakwater", Coastal Engineering-40, Elsevier, 59-87.
- Van der Meer, J.W., 1988, "Rock Slope and Gravel Beaches under Wave Attack", Grafische verzorging Waterloopkundig Laboratorium/ WL.
- Van der Meer, J.W., Daemen, I.F.R., 1994, "Stability and Wave Transmission at Low-Crested Rubble-Mound Structures", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, 120(1) 1-19.

Daftar Notasi

b	Lebar puncak <i>breakwater</i>
C_R	Koefisien refleksi
C_T	Koefisien transmisi
d	Tinggi <i>breakwater</i>
g	Gravitasi
h	Kedalaman air
H	Tinggi gelombang
H_i	Tinggi gelombang datang
H_r	Tinggi gelombang refleksi
H_s	Tinggi gelombang signifikan
H_t	Tinggi gelombang transmisi
k	Bilangan gelombang
kn	Bilangan gelombang ke n
K_D	Koefisien stabilitas
K_{To}	Transmisi akibat <i>overtopping</i>
L	Panjang gelombang
P	Porositas <i>breakwater</i>
T	Perioda gelombang
W_a	Berat armor
α	Sudut <i>talud breakwater</i>

